

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
20. Oktober 2005 (20.10.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/098544 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G03F 7/20**,
H01J 37/317

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/051451

(22) Internationales Anmeldedatum:
30. März 2005 (30.03.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2004 018 147 8. April 2004 (08.04.2004) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **GIESECKE & DEVRIENT GMBH** [DE/DE];
Prinzregentenstr. 159, 81677 München (DE). **LEICA MI-
CROSYSTEMS LITHOGRAPHY GMBH** [DE/DE];
Göschwitzer Strasse 25, 07745 Jena (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **KAULE, Wittich**
[DE/DE]; Lindacher Weg 13, 82275 Emmering (DE).
PLONTKE, Rainer [DE/DE]; Am Schwemmtümpel 15,
99441 Magdala (DE). **STOLLBERG, Ines** [DE/DE];
Johannisstrasse 11, 07743 Jena (DE). **SCHUBERT,
Andreas** [DE/DE]; Schillerstrasse 5, 99510 Niederrossla
(DE). **DICHTL, Marius** [DE/DE]; Oberländer Str. 5c,
81371 München (DE).

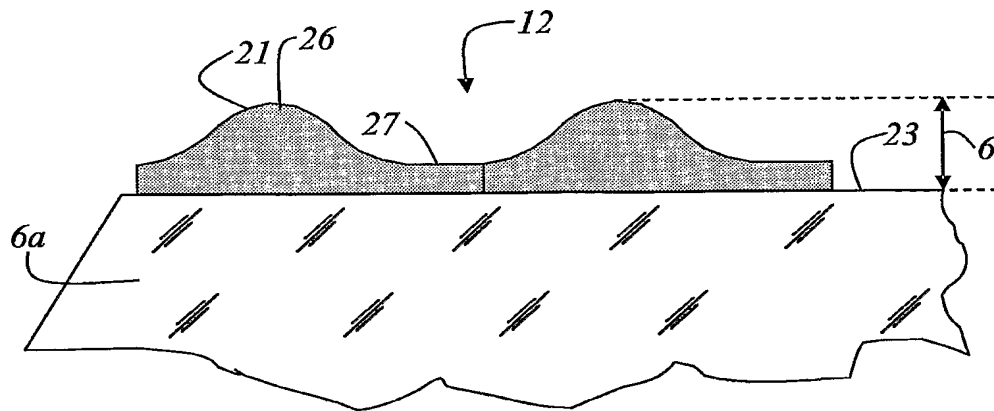
(74) Anwalt: **REICHERT, Werner**; Franz-Groedel-Str. 1,
61231 Bad Nauheim (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,
GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR PRODUCING RESIST PROFILED ELEMENTS

(54) Bezeichnung: EINRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR ERZEUGUNG VON RESISTPROFILIEN



(57) Abstract: The invention relates to a device and a method for producing resist profiled elements. According to the invention, an electron beam lithography system is used to produce an electron beam, the axis of the beam being essentially perpendicular to a resist layer in which the resist profiled element is to be produced. The electron beam can be adjusted in terms of the electron surface dose in such a way that a non-orthogonal resist profiled element can be produced as a result of the irradiation by the electron beam.

(57) Zusammenfassung: Es ist eine Einrichtung und eine Vorrichtung zur Erzeugung von Resistprofilen offenbart. Hierzu ist ein System zur Elektronenstrahlolithographie notwendig, das einen Elektronenstrahl erzeugt, dessen Strahlachse im wesentlichen senkrecht auf einer Resistschicht steht, in der das Resistprofil erzeugt werden soll. Der Elektronenstrahl ist hinsichtlich der Elektronenflächendosis derart einstellbar, dass aufgrund der Bestrahlung durch den Elektronenstrahl ein Resistprofil erzeugbar ist, das ein nicht-rechtwinkliges Resistprofil aufweist.



WO 2005/098544 A2



TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Einrichtung und Verfahren zur Erzeugung von Resistprofilen

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur Erzeugung von Resistprofilen.

- 5 Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Erzeugung von Resistprofilen. Hinzu kommt eine Verwendung der Einrichtung zur Erzeugung von Resistprofilen und eine Verwendung des Verfahren zur Erzeugung von Resistprofilen.

- 10 Bisher werden mit Hilfe der Elektronenstrahlolithografie in der Halbleiterindustrie Resistschichten strukturiert. Diese strukturierten Resistschichten dienen als Hilfsmasken zur Strukturierung des darunter liegenden Substrates. Dementsprechend werden von dem Resistprofil möglichst steile (rechtwinklig zur Substratoberfläche) Kanten gefordert.

- 15 Die deutsche Offenlegungsschrift 41 13 027.8 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung, mit der Gittermaßstäbe beliebiger Länge mit einer Gitterkonstante im μm -Bereich hergestellt werden können. Ein Vorlagenmaßstab wird zunächst schrittweise fortlaufend auf ein flexibles mit einem Photoresist beschichtetes Metallband abgebildet. Ein mit der Abbildungsvorrichtung gekoppelter Sensor detektiert die Strukturen in dem belichteten Photoresist. Abwechselnd einschaltbare Haltevorrichtungen für
20 das flexible Metallband an der Abbildungsvorrichtung und dem Tisch der Abbildungsvorrichtung führen durch Relativverschiebung zwischen Abbildungsvorrichtung und Tisch nacheinander weitere Abschnitte des Metallbandes in den Abbildungsbereich. Vom Sensor abgeleitete
25 Steuersignale gewährleisten dabei einen phasenrichtigen Anschluss der Abbildungen des Vorlagengitters.

Das europäische Patent 0 648 343 offenbart eine Fresnel-Linse und ein Verfahren zu deren Herstellung. Es wird mit einem Elektronenstrahl gearbeitet, dessen rechteckiger Strahlquerschnitt veränderbar ist. Da die

Veränderung schnell vorgenommen werden, kann man hiermit eine abgestufte Fresnel-Linse herstellen. Elektronenstrahldosen, die denjenigen von Zylinderlinsen entsprechen werden übereinander in den Resist belichtet. Jede beliebige Linsenform kann dadurch hergestellt werden. Je feiner die Strukturen werden desto problematischer ist es, mit der mehrfachen Belichtung glatte Flanken der Strukturen zu erzeugen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Einrichtung zu schaffen mit der unterschiedliche Resistprofile erzeugbar sind, und dass dem Anwender die Möglichkeit der Modellierung der Resistprofile in die Hand gegeben wird.

10 Diese Aufgabe wird durch eine Einrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Es ist vorteilhaft, wenn die Resistschicht einen Negativresist umfasst. Das Resistprofil umfasst eine Gitterstruktur, die aus einer parallelen Aneinanderreihung von Vertiefungen und Erhöhungen besteht. Die Primärenergie des Elektronenstrahls des Systems zur Elektronenstrahlolithographie ist einstellbar, wobei die untere Grenze der Primärenergie 1KeV und die obere Grenze der Primärenergie 20KeV beträgt. Die Dicke der Resistschicht liegt zwischen 100nm und 500nm. Die Elektronenflächendosis hängt von der Primärenergie des Elektronenstrahls, der Elektronenstreuung in der Resistschicht, der Sondengröße und der Elektronendosis ab.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist, ein Verfahren zu schaffen, mit dem unterschiedliche Resistprofile erzeugt werden, und dass dem Anwender die Möglichkeit der Modellierung bzw. Vorbestimmung der gewünschten Resistprofile in die Hand gegeben wird.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 15 gelöst.

Es ist von Vorteil, wenn eine Einrichtung zur Erzeugung von Resistprofilen ein System zur Elektronenstrahlolithographie umfasst, das einen Elektronenstrahl erzeugt. Dabei steht die Strahlachse im wesentlichen senkrecht auf einer

Resistschicht, in der das Resistprofil erzeugbar ist. Der Elektronenstrahl ist hinsichtlich der Elektronenflächendosis derart einstellbar, dass aufgrund der Bestrahlung durch den Elektronenstrahl ein Resistprofil erzeugbar ist, das ein nicht-rechtwinkliges Resistprofil aufweist.

- 5 Die Resistschicht kann auf einem Substrat aufgebracht sein. Ebenso ist er denkbar, dass die Resistschicht ohne Substrat verwendet wird, und dass in einem oberen Bereich der Resistschicht das Resistprofile erzeugt wird.

- Die Elektronenflächendosis wird durch die Parameter, wie Substratart, Resistart, Resistdicke, Entwicklungsvorschrift und der Primärenergie des Elektronenstrahls definiert, und dass die Einstellung des Elektronenstrahls
10 somit entsprechend dieser Parameter vorgenommen wird, um das gewünschte Resistprofil zu erzeugen. Das Resistprofil umfasst eine Gitterstruktur, die aus einer Aneinanderreihung von Vertiefungen und Erhöhungen besteht. Die Höhe der Primärenergie des Elektronenstrahls legt
15 einen Durchmesser einer Streubirne in der Resistschicht um den Einfallort des Elektronenstrahls fest, wobei der Durchmesser der Streubirne umgekehrt proportional zur Primärenergie des Elektronenstrahls ist. Die Ausnutzung des Effekts der Sekundärelektronen im Zusammenspiel mit dem Negativresist ermöglicht die Erzeugung von nicht-rechtwinkligen Resistprofilen.

- 20 Die Sondengröße ist quasi-kontinuierlich einstellbar. Das Profil in der Resistschicht ist mit einer einzigen Sondengröße schreibbar, wobei die Sondengröße kleiner als die kleinstmögliche Strukturgröße ist.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung können den Unteransprüchen entnommen werden.

- 25 In der Zeichnung ist der Erfindungsgegenstand schematisch dargestellt und wird anhand der Figuren nachfolgend beschrieben. Dabei zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung des Aufbaus eines gesamten Systems zur Elektronenstrahlolithographie ;

Fig. 2a eine schematische Darstellung der Streuung eines

Elektronenstrahls mit hoher Primärenergie in der Resistschicht;

Fig. 2b eine Draufsicht auf die Oberfläche der Resistschicht und der Projektion des Elektronenstrahls aus Fig. 2a auf die Resistschicht;

Fig. 2c eine schematische Darstellung der Streuung eines
5 Elektronenstrahls mit niedriger Primärenergie in der Resistschicht;

Fig. 2d eine Draufsicht auf die Oberfläche der Resistschicht und der Projektion des Elektronenstrahls aus Fig. 2c auf die Resistschicht;

Fig. 3 ein durch Bestrahlung mit einem Elektronenstrahl erzeugtes, rechtwinkliges Profil gemäß dem Stand der Technik;

10 Fig. 4 eine Ansicht eines Dreiecksprofils, das mit der gegenwärtigen Erfindung erzeugbar ist;

Fig. 5 eine Ansicht eines sinusförmigen Profils, das mit der gegenwärtigen Erfindung erzeugbar ist;

Fig. 6 eine Ansicht eines trapezförmigen Profils, das mit der
15 gegenwärtigen Erfindung erzeugbar ist;

Fig. 7 eine Darstellung der Erzeugung eines Elements der Gitterstruktur mit n aneinander gereihten Belichtungsschritten zur Erzeugung von nicht rechtwinkligen Resiststrukturen gemäß dem Stand der Technik: und

Fig. 8 eine schematische Darstellung der Erzeugung eines
20 Resistprofils mit flächiger Ausdehnung gemäß der Erfindung.

Fig. 1 veranschaulicht die Struktur einer Elektronenstrahlsäule 5, in der der Elektronenstrahl 1 von einer eine Strahlquelle bildenden Elektronenkanone 7 erzeugt wird, wobei er durch eine Kondensorlinse 9 zur Objektivlinse 2 und demgemäß zu einer Resistschicht 6 hindurch läuft. In der Regel ist die
25 Resistschicht 6 auf einem Substrat 6a (siehe Fig. 4 bis Fig. 6) aufgebracht. Obwohl sich die nachstehende Beschreibung auf Elektronenstrahlen beschränkt, ist es einem Fachmann klar, dass auch alle anderen

Teilchenstrahlen mit geladenen Partikeln hier Anwendung finden können. Die Anordnung verfügt über ein Steuerungssystem 54. Ebenso ist es möglich, dass ein Resistprofil direkt in der Resistschicht ohne ein Substrat erzeugt wird.

Außerdem wird zum Bearbeiten (Elektronenstrahl-Lithographie) verschiedener
5 Teile der Resistschicht 6 der Elektronenstrahl 1 über die Resistschicht 6 gerastert bzw. bewegt. Für begrenzte Abrasterbereiche kann das Abrastern durch eine Abrastereinrichtung 11 unter Steuerung durch eine Abrastersteuerungseinrichtung 60 erzielt werden. Für größere Bewegungen sorgt die Tischsteuerung 59 dafür, dass der Tisch 10, und damit die
10 Resistschicht 6, horizontal verstellt wird. Das Steuerungssystem 54 wird durch einen Steuerungscomputer (nicht dargestellt) gesteuert.

Die gesamte Einrichtung zur Erzeugung von Resistprofilen umfasst ein System aus der bereits beschriebenen Elektronenstrahlsäule und der Resistschicht 6. Dabei erhält man durch die Abstimmung der Primärenergie
15 des Elektronenstrahls und der Art der verwendeten Resistschicht 6 eine Elektronendichteverteilung im Abstand vom Bestrahlungsort. Der Elektronenstrahl 1 und folglich somit auch die Elektronenstrahlsäule 3 sind hinsichtlich der Elektronenflächendosis derart einstellbar, dass aufgrund der Bestrahlung durch den Elektronenstrahl ein Resistprofil 12 erzeugbar ist, das
20 ein nicht-rechtwinkliges Resistprofil 12 aufweist. Durch den Energieeintrag des Elektronenstrahls 1 während der Elektronenstrahlbelichtung wird die Lösungsgeschwindigkeit des bestrahlten Resists in einem Lösungsmittel verändert. Der auf die Resistschicht 6 treffende Elektronenstrahl 1 wird gestreut und die Streuung ist abhängig von der Primärenergie des
25 Elektronenstrahls 1.

Fig. 2a zeigt eine schematische Darstellung der Streuung eines Elektronenstrahls mit hoher Primärenergie in der Resistschicht 6. Je höher die Primärenergie des Elektronenstrahls 1 ist, desto kleiner ist die Streuung des Elektronenstrahls 1 in der Resistschicht 6. Der Elektronenstrahl 1 trifft auf die
30 Resistschicht 6 und besitzt an der Oberfläche 15 des Resists eine Sondengröße 1a mit einem bestimmten Durchmesser 1b (siehe Fig. 2b).

Durch die Streuung entsteht in der Resistschicht 6 eine Streubirne 18, so dass eine räumlich ausgedehnte Beeinflussung des Resists erfolgt. Die Resistschicht 6 besteht aus einem Negativresist. Dies bedeutet, dass je höher die auf die Resist einwirkende Elektronenenergie ist, desto mehr nimmt die Löslichkeit des Resists durch das Lösungsmittel ab.

In Fig. 2c ist eine schematische Darstellung der Streuung eines Elektronenstrahls 1 mit niedriger Primärenergie in der Resistschicht 6 gezeigt. Die Streubirne 18 besitzt aufgrund der niederen Primärenergie des Elektronenstrahls 1 einen größeren Durchmesser als in Fig. 2a dargestellt ist.

10 Durch die Streuung der Elektronen in der Resistschicht 6 weitet sich der Elektronenstrahl stärker auf als im Vergleich zum Durchmesser des Elektronenstrahl 1 direkt an der Oberfläche 15 der Resistschicht 6 (siehe Fig. 2d). Die Sondengröße 1a des Elektronenstrahls ist in Fig. 2b und Fig. 2b als ein Kreis dargestellt. Die Darstellung der Sondengröße 1a als Kreis soll nicht

15 als eine Beschränkung aufgefasst werden. Andere Projektionen des Elektronenstrahls 1 auf die Oberfläche 15 der Resistschicht 6 sind möglich und die Darstellung eines Kreises wie in der Fig. 2b und Fig. 2c soll ebenfalls nicht als Beschränkung aufgefasst werden.

Wie in der Fig. 2a und Fig. 2b dargestellt, werden durch die Streuung des Elektronenstrahls 1 Bereiche der Resistschicht von Elektronen beeinflusst, die nicht unmittelbar vom Elektronenstrahl getroffen werden. Dieser im allgemeinen negative Sachverhalt ist unter der Bezeichnung Proximity-Effekt bekannt. Bei der Erfindung wird dieser Sachverhalt ausgenutzt. Wie bereits oben erwähnt, ist die Größe und die Form der Streubirne 18 nicht alleine auf eine Kegelform 18a beschränkt. Größe und Form der Streubirne 18, innerhalb der die Elektronen Reaktionen in der Resistschicht auslösen, hängt unter anderem auch von der Primärenergie des Elektronenstrahls 1 ab. Mit abnehmender Energie des Elektronenstrahls wird der Durchmesser der Streubirne 18 größer, andererseits verringert sich infolge der geringeren

20 Elektronendichte die Zahl der aus dem Resist rückgestreuten Elektronen. Mit der Wahl der Primärenergie des Elektronenstrahls 1 kann somit in gewissen Grenzen eine Elektronendichteverteilung eingestellt werden.

Die Sondengröße 1a erweist sich als weiterer Parameter für die Modellierung der Resistprofile. Wird die in der Regel geringe Sondengröße 1a mit Hilfe der gerätetechnischen Steuerung vergrößert, so wirkt das in der Resistschicht 6 wie eine physikalische Integration mehrerer nebeneinander liegender feiner
5 Sonden und damit wie eine Superposition der einzelnen Streubirnen 18. Insbesondere bei der Herstellung von Beugungsgittern kann damit erreicht werden, dass ähnliche Profile für einen weiten Bereich von Gitterkonstanten hergestellt werden können.

Die Elektronendosis ist ein dritter Parameter. Mit Hilfe der gewählten
10 Stromdichte des Elektronenstrahls 1 und der Belichtungszeit, kann die Elektronendosis eingestellt werden. Hiermit wird letztendlich die Größe der Streubirne 18 bestimmt, innerhalb derer es zu wirksamen Reaktionen mit dem für die Elektronen des Elektronenstrahls 1 empfindlichen Resist kommt.

Der Elektronenstrahl 1 wird hinsichtlich der Elektronenflächendosis derart
15 eingestellt, dass aufgrund der Bestrahlung durch den Elektronenstrahl ein Resistprofil erzeugbar ist, das ein nicht-rechtwinkliges Resistprofil aufweist. Hierzu wird mit den oben erwähnten Parametern ein Energiedichte-Profil in der Resistschicht 6 erzeugt. Entscheidend ist nun, dass man einen Resist benutzt, der dieses Elektronendichte-Profil in ein geeignetes
20 Lösungsgeschwindigkeits-Profil in der Resistschicht 6 wandelt.

In Fig. 3 ist das durch einen Elektronenstrahl erzeugte Resistprofil 12 in einer Resistschicht 6 dargestellt. Diese gemäß dem Stand der Technik erzeugten Resistprofile dienen in der Halbleiterindustrie üblicherweise als Hilfsmasken für die Strukturierung eines darunter liegenden Substrats. Dementsprechend
25 werden von dem Resistprofil möglichst steile (rechtwinklig zur Substratoberfläche) Kanten 25 gefordert und somit auch erzeugt. Die Kanten 25 sind rechtwinklig zur Substratoberfläche 23.

Fig. 4 bis Fig. 6 offenbart Resistprofile 12, die ein nicht-rechtwinkliges Resistprofil 12 aufweisen. Fig. 4 zeigt die Ansicht eines Dreiecksprofils 22,
30 das mit der gegenwärtigen Erfindung erzeugbar ist. Die Seitenkanten des Dreiecksprofils 22 stehen nicht senkrecht auf der Substratoberfläche 23. Es

gilt somit einen Resist zu wählen, der das gewählte Elektronendichte-Profil in ein geeignetes Lösungsgeschwindigkeits-Profil wandelt, damit die in der Fig. 4 bis Fig. 6 dargestellten Resistprofile 12 erzeugbar sind. Der Resist der Resistschicht 6 umfasst einen Negativresist und besitzt eine möglichst lineare Gradation, so dass die Elektronendichte-Verteilung in der Resistschicht 6 möglichst feinstufig in eine Löslichkeitsverteilung der Resistschicht 6 transferiert wird. Letztendlich besteht das Resistprofil 12 aus einer Gitterstruktur, die eine parallele Aneinanderreihung von Vertiefungen 27 und Erhöhungen 26 umfasst.

Fig. 5 zeigt ein sinusförmiges Profil 21, das mit der gegenwärtigen Erfindung erzeugbar ist.

Fig. 6 zeigt eine Ansicht eines trapezförmigen Profils 20, das mit der gegenwärtigen Erfindung erzeugbar ist.

Wie aus Fig. 4 bis Fig. 6 ersichtlich ist, kann typischerweise ein Strukturelement in einem Belichtungsschritt geschrieben werden. Das Resistprofil 6 umfasst eine Gitterstruktur 24, die aus einer parallelen Aneinanderreihung von Vertiefungen 27 und Erhöhungen 26 besteht. In einem Belichtungsschritt wird also immer eine Erhöhung 26 geschrieben. Wie bereits oben erwähnt, ist die Erhöhung erst nach der Behandlung der Resistschicht 6 mit einem Lösungsmittel sichtbar. Mehrere parallel zueinander angeordnete und voneinander beabstandete Erhöhungen 26 ergeben zusammen die Gitterstruktur 24. Ein Element der Gitterstruktur 24 wird z.B. als ein Gitterstab 35 bezeichnet, der in einem Belichtungsschritt 30 gemäß der gegenwärtigen Erfindung erzeugbar ist..

Fig. 7 zeigt eine Darstellung der Erzeugung eines Elements 24a der Gitterstruktur 24 mit n aneinander gereihten Belichtungsschritten 30 zur Erzeugung von nicht rechtwinkligen Resiststrukturen gemäß dem Stand der Technik. Zur Erzeugung einer Gitterstruktur aus N Elementen 24a sind somit $N \times n$ Belichtungsschritte notwendig. Die einzelnen Belichtungsschritten 30 werden zeitlich nebeneinander belichtet und es ist selbstverständlich, dass eine Lagegenauigkeit der einzelnen Schritte zueinander eingehalten werden

muss. Hierbei ist die Größe und die Auswirkung der Streubirne 18 in der Resistschicht zu berücksichtigen, so dass eine gewisse Überdeckungsgenauigkeit eingehalten werden muss. Wird die Überdeckungsgenauigkeit nicht eingehalten, kann dies zu einer Verschlechterung der Strukturtreue bzw. Uniformity analoger Strukturen führen. Hinzu kommt, dass für die Erzeugung eines Elements 24a nach dieser Art und Weise und somit für die gesamte Struktur eine längere Bearbeitungszeit aufgewendet werden muss.

Wie bereits oben beschrieben, ist zur Erzeugung der nicht rechtwinkligen Strukturen in der Resistschicht 6 ein Elektronenstrahl-Lithografiergerät 1 notwendig. Das Elektronenstrahl-Lithografiergerät ermöglicht mit unterschiedlichen Energien der Primärelektronen zu arbeiten. Dabei müssen insbesondere auch solche Energien der Primärelektronen anwendbar sein, bei denen die Eindringtiefe der Primärelektronen in organische Resiste in der Größenordnung der typischerweise verwendeten Resistdicken liegt (100 nm ... 500nm). Die untere Energiegrenze der Primärelektronen sollte bei etwa 1keV liegen, eine obere Energiegrenze der Primärelektronen sollte bei 20keV ausreichend sein. Die Primärenergie muss sich kontinuierlich oder wenigsten in kleinen Schritten (quasikontinuierlich) ändern lassen.

Fig. 8 zeigt eine schematische Darstellung der Erzeugung eines Resistprofils 12 mit einer flächigen Ausdehnung gemäß der Erfindung. Aufgrund der Einfachheit der zeichnerischen Darstellung wird das Dreiecksprofil 22 gewählt. Dies soll jedoch nicht als eine Beschränkung aufgefasst werden. Die flächige Ausdehnung des Resistprofils 12 umfasst mehrere Strukturelemente, von denen jedes Element als Gitterstab 35 bezeichnet wird. Aufgrund der Bestrahlung der Resistschicht 6 durch den Elektronenstrahl erhält man nach der Entwicklung der Resistschicht 6 ein flächiges Resistprofil 12. Zum Erzeugen des Resistprofils 12 wandert der Elektronenstrahl in mehreren Schritten, über die Resistschicht 6. Der Pfeil 36 definiert einen Schritt durch den jeweils ein Gitterstab 35 erzeugt wird. Die Breite des Gitterstabes 35 ist durch den Doppelpfeil 37 gekennzeichnet.

- Für die Anwendung können sowohl Elektronenstrahl-Lithographiegeräte verwendet werden, die nach dem Punktstrahlprinzip (*GAUSSIAN beam*) oder dem Formstrahlprinzip (*variable shaped beam*) arbeiten. Entscheidend sind lediglich zwei Dinge. Die Sondengröße 1a muss sich über einen gewissen
- 5 Bereich quasikontinuierlich ändern lassen. Die minimale Sondengröße 1a muss kleiner als oder klein gegen die minimal zu erzeugenden Strukturelemente sein. Nach dem Punktstrahlprinzip arbeitende Geräte für die Nanolithographie (Sondengröße kleiner oder gleich 5nm) sind für diese Anwendung prädestiniert, aber nicht zwingend nötig.
- 10 Das Elektronenstrahl-Lithographiegerät 1 muss in den zur Anwendung kommenden Belichtungsregimen über die Möglichkeit einer feinfühlgigen Dosissteuerung verfügen. Dies ist üblicherweise erfüllt und geschieht über die Belichtungszeit (Bildpunktzeit, dwell-time, shot-rate) bzw. die Belichtungsgeschwindigkeit bei bewegtem Substrat.
- 15 Bei dem verwendeten Resist muss es sich um einen Negativresist handeln, d.h. die mit Elektronen bestrahlten Teile des Resists müssen gegenüber dem Entwickler bzw. Lösungsmittel (bei einer bestimmten Temperatur, einer bestimmten Konzentration, einer bestimmten Einwirkzeit) eine schlechtere Löslichkeit haben als der unbestrahlte Resist. Zur weiteren Charakteristik wird
- 20 Bezug auf die Kontrastkurve des Resists genommen. Die Kontrastkurve erhält man, wenn man bei sonst konstanten Bedingungen (Energie der Primärelektronen, Entwicklungsprozess, Ausgangsdicke d_0 der Resistschicht 6) die nach der Entwicklung verbliebene Dicke der Resistschicht 6 über der angewendeten Elektronen-Flächendosis D aufträgt. Um zu verallgemeinerten
- 25 Aussagen zu kommen, ist es zweckmäßig, zu einer normierten Kontrastkurve überzugehen, bei der die verbliebene Dicke der Resistschicht 6 auf die Ausgangsdicke d_0 der Resistschicht 6 bezogen wird und die angewendete Elektronendosis auf den maximalen Dosiswert D_{\max} , ab dem kein Abtrag der Resistschicht 6 mehr erfolgt. Der Resist hat eine für das Verfahren
- 30 hinreichend weiche Gradation, wenn die Steilheit S , dieser gemäß Gleichung (1) dargestellten Kurve den Wert von 1,5 nicht überschreitet.

$$S = \left(\frac{\Delta d}{d_0} \right) / \left(\frac{\Delta D}{D_{\max}} \right)$$

Gleichung 1

- Resiste einschließlich eines geeigneten Entwicklungsverfahren, die diese Bedingung erfüllen, sind vorhanden und kommerziell erhältlich. Die normierte Elektronenflächendosis ist der Quotient der angewendeten
- 5 Elektronenflächendosis und der maximalen Elektronenflächendosis. Die maximale Elektronenflächendosis ist diejenige Elektronenflächendosis, bei der im Entwicklungsprozess kein Abtrag des Resists erfolgt.

- Um für das ausgewählte Resistsystem (Substrat, Resist, Dicke der Resistschicht 6, Entwicklungsvorschrift, Energie der Primärelektronen) die
- 10 Kontrastkurve zu bestimmen, wird wie folgt vorgegangen. Zunächst werden Flächen (von z.B. 50µm X 100µm) mit unterschiedlicher Dosis belichtet. Nach der Entwicklung wird, wie z.B. mit einem Tastschnittgerät, die verbliebene Dicke der Resistschicht 6 gemessen und daraus die Kontrastkurve ermittelt, die für das weitere Vorgehen benötigt wird. Das Verfahren ist für mehrere
- 15 infrage kommende Elektronenenergien zu wiederholen.

- Ebenso gilt es für die spätere definierte Einstellung des Systems die Streubirne 18 und dessen Größe zu ermitteln. Es wird das bereits ausgewählte System aus Substrat, Resist, Dicke der Resistschicht 6, Entwicklungsvorschrift und Energie der Primärelektronen benutzt. In die
- 20 Resistschicht 6 werden nun Einzellinien geschrieben, wobei am Elektronenstrahl-Lithographiegerät die kleinstmögliche Sondengröße eingestellt wird. Verwendet wird dafür wenigstens der maximale Dosiswert D_{\max} . Es ist jedoch zweckmäßig, wie aus dem folgenden ersichtlich wird, auch höhere Werte zu benutzen, sowie Einzellinien zu Strichgruppen mit
- 25 unterschiedlichen Gitterkonstanten zu gruppieren. Nach dem Prozessieren des Substrates wird dasselbe senkrecht zu den Linien gebrochen und mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskops (nicht dargestellt) der Querschnitt bzw. das Linienprofil ermittelt. Damit erhält man in Abhängigkeit vom Einfallort des Elektronenstrahles eine Resist-Restdickenverteilung. Diese
- 30 Resistdickenverteilung kann man mit Hilfe der Kontrastkurve in eine dort

- wirksame Elektronendosisverteilung umrechnen. Diese Elektronendosisverteilung ist die Streubirne 18. Dies ergibt insgesamt für das betrachtete System die wirksame Elektronendichte in Abhängigkeit vom Einstrahlort bzw. Einfallort der Elektronen. Da einzelne Linien benutzt wurden,
- 5 kann dies mit einer eindimensionalen Funktion, wie z. B. in Gleichung (2), dargestellt werden.

$$D = D_0 \times f(x)$$

Gleichung 2

- Mit dieser Basisfunktion kann nun einfach durch Superposition das Ergebnis berechnet werden, das sich ergibt, wenn ein Gitter belichtet wird. Mit anderen
- 10 Worten bedeutet dies, dass die Belichtung eines benachbarten Gitterstabes in dem Bereich erfolgt, wo die Dosis des zuvor oder danach belichteten Gitterstabes noch eine endliche Größe aufweist. Auf die gleiche Weise kann auch eine andere, größere Elektronensonde simuliert werden. Die in der obigen Vorschrift empfohlenen Gitter bzw. breiteren Linien dienen nun quasi
- 15 der experimentellen Überprüfung der theoretischen Vorhersagen. Sie sind also nicht unbedingt nötig, erhöhen aber die Genauigkeit der Bestimmung von $D = D(x)$ und damit die Signifikanz der Vorhersage. Für eine reale Gitterstruktur erhält man also die Elektronendichteverteilung eines Gitterstabes durch Summation, was in Gleichung (3) wiedergegeben ist.

$$20 \quad D_{result} = D_0 \times [f_e(x) + f_e(x - g) + f_e(x + g)]$$

Gleichung (3)

Gleichung 3 gilt, wenn die Gitterstabe mit der kleinstmöglichen Sonde geschrieben werden. Ein Profil eines einzelnen Gitterstabes, der mit einer Sonde mit einer Breite B größer als die kleinstmögliche Breite b geschrieben wird, wie z.B. $B = (2n + 1) \times b$, erhält man danach gemäß Gleichung 4:

$$25 \quad D_B = \left(\frac{D_0}{(2n + 1)} \right) \times \sum_{i=1}^{i=n} [f_e(x) + f_e(x - i \times b) + f_e(x + i \times b)] \quad \text{Gleichung (4)}$$

Wenn in Gleichung (3) statt D_0 der in Gleichung (4) bestimmte Wert D_B verwendet wird, kann man also auch Gitteranordnungen berechnen bei denen

die Stäbe nicht mit der kleinstmöglichen Sonde belichtet werden.

Mit Hilfe der Kontrastkurve wird die Elektronendichte nun wiederum umgerechnet in eine Schichtdickenverteilung. Durch Variation der Parameter (D_0, g, b) und Auswahl der Energie $f_e(x)$ kann nun die Variante ausgesucht

5 werden, die dem gewünschten Profil am besten entspricht.

Nachstehend sind drei Beispiele für die Anwendung der nicht rechtwinkligen Resistprofile aufgelistet.

Beispiel 1: CD – DVD – Super-DVD

Bei diesen Speichermedien ist die Information in so genannten „Pits“ und
10 „Lands“ enthalten. Pits und Lands sind entlang einer Spur angeordnet und wechseln einander ab. Sie unterscheiden sich in ihrer Länge. Pits sind gegenüber ihrer Umgebung erhaben. Beim Lesen wird das Speichermedium von einem fokussierten Laserstrahl abgetastet. Dabei ist der Laser-Spot typischerweise etwa dreimal so groß im Durchmesser wie die Pits breit sind.
15 Dies dient dem Zentrieren des Spots beim Abtasten des Mediums.

Da bei CDs und DVDs zum Schreiben des Masters ebenfalls Laser verwendet werden, bedeutet das, dass bei Ausnutzung eines minimalen Spot-Durchmessers die Medien nur dreimal größer geschrieben werden können als es möglich wäre, sie nachher auszulesen. So ist es nahe liegend, den
20 Elektronenstrahl zur Masterherstellung einzusetzen, um so die Grenze des optisch Auslesbaren zu erreichen. Nun ist es aber so, dass die Signalentstehung nicht an den erhabenen Flächen der Pits und Lands entsteht, sondern an deren Flanken. Und gerade der Flankenwinkel entscheidet über die Signalthöhe bzw. Signalgüte und damit über die
25 Sicherheit des Auslesens bzw. die Auslesegeschwindigkeit. Mit dem von uns beschriebenen Verfahren könnte also die gewünschte Trapezform des Querschnittes der Pits optimal eingestellt werden.

Beispiel 2: Maßstäbe für Längenmessmaschinen

In Positioniersystemen höchster Genauigkeit werden zur Koordinatenbestimmung heutzutage zwei Verfahren benutzt, einmal Laserwegmesssysteme, zum anderen das optische Abtasten von Präzisions-Gittermaßstäben. Für letztere ist unser beschriebenes Verfahren hilfreich. Beim Messen wird der bewegte Maßstab von einem Laser bestrahlt und das gebeugte Licht mit Sensoren registriert. Die dabei registrierten Maxima und Minima der Intensität des gebeugten Lichtes werden gezählt, mit der Gitterkonstante verrechnet ergibt das dann die Strecke, um welche das System mit dem fest verbundenen Maßstab verschoben worden ist. Wenn das Profil (Querschnitt des Gitters) nun in geeigneter Weise gewählt wird, kann man erreichen, dass die gesamte Beugungsintensität nur in eine Beugungsordnung geht, d.h. man erhält eine hohe Signalintensität. Das bedeutet wiederum schnelleres Messen bzw. Positionieren und zuverlässigeres Messen bzw. Positionieren. Sinusgitter haben diese Eigenschaft, und diese Profilmodellierung kann mit dem von uns beschriebenen Verfahren realisiert werden.

Beispiel 3: Sicherheitshologramme

Geldscheine, Kreditkarten, Pässe, usw. werden zunehmend mit nicht kopierfähigen Sicherheitsmerkmalen ausgestattet. Dazu gehören auch Hologramme, die mit dem bloßen Auge erkennbar sind, je nach Betrachtungswinkel ihre Farbe und ihr Erscheinungsbild verändern. Physikalisches Element dieser Hologramme sind letztlich wieder beugende Gitterstrukturen. Und auch hier gilt wieder das unter Beispiel 2 Gesagte: wenn das Profil dieser Gitterelemente ein geeignetes ist, z.B. ein sinusförmiges, dann werden diese Sicherheitsmerkmale optisch besonders leuchtkräftig, markant und unverwechselbar. Für maschinelle Auswertung ergeben sich weitere Besonderheiten, die ebenfalls auf der Gitterstruktur beruhen, aber aus verständlichen Gründen nur mit einer gewissen Zurückhaltung offen gelegt werden. Werden also die Master für jene Elemente mit Hilfe des Elektronenstrahles hergestellt, so bietet sich unser Verfahren an, die theoretisch geforderten Eigenschaften praktisch umzusetzen.

Bezugszeichenliste:

	1	Elektronenstrahl
	1a	Sondengröße
5	2	Objektivlinse
	5	Elektronenstrahlsäule
	6	Resistschicht
	6a	Substrat
	7	Elektronenkanone
10	8	Elektronenstrahl
	9	Kondensorlinse
	10	Tisch
	11	Abrastereinrichtung
	12	Resistprofil
15	15	Oberfläche
	16	Durchmesser
	18	Streubirne
	18a	Kegelform
	20	trapezförmiges Profil
20	21	sinusförmiges Profil

	22	Dreiecksprofil
	23	Substratoberfläche
	24	Gitterstruktur
	25	Kanten
5	26	Erhöhung
	27	Vertiefung
	30	Belichtungsschritt
	35	Gitterstab
	36	Pfeil
10	37	Doppelpfeil
	51	Steuerungscomputer
	54	Steuerungssystem
	59	Tischsteuerung
	60	Abrastersteuerungseinrichtung

Patentansprüche

- 5 1. Eine Einrichtung zur Erzeugung von Resistprofilen umfasst: ein System zur Elektronenstrahlolithographie, das einen Elektronenstrahl erzeugt, dessen Strahlachse im wesentlichen senkrecht auf einer Resistschicht steht, in der das Resistprofil erzeugbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass der Elektronenstrahl hinsichtlich der Elektronenflächendosis derart einstellbar ist, dass 10 aufgrund der Bestrahlung durch den Elektronenstrahl ein Resistprofil erzeugbar ist, das ein nicht-rechtwinkliges Resistprofil aufweist.
2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Resistschicht auf einem Substrat aufgebracht ist.
- 15 3. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Resistschicht einen Negativresist umfasst.
4. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Resistprofil eine Gitterstruktur umfasst, die aus einer parallelen Aneinanderreihung von Vertiefungen und Erhöhungen besteht.
- 20 5. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass eine Primärenergie des Elektronenstrahls stufenlos einstellbar ist, wobei die untere Grenze der Primärenergie 1KeV und die obere Grenze der Primärenergie 20KeV beträgt.
- 25 6. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke der Resistschicht zwischen 100nm und 500nm liegt.
7. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die in den Resist eingebrachte Elektronenflächendosis von der

Primärenergie des Elektronenstrahls, der Elektronenstreuung in der Resistschicht, der Sondengröße und der Einwirkzeit des Elektronenstrahls in der Resistschicht abhängt.

- 5 8. Einrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Primärenergie des Elektronenstrahls in der Resistschicht eine Streubirne mit einem Durchmesser definiert, wobei der Durchmesser der Streubirne umgekehrt proportional zur Elektronenenergie ist.
- 10 9. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Resistschicht einen Resist umfasst, der eine Gradation aufweist, die gemäß $S = (\frac{\Delta d}{d_0}) / (\frac{\Delta D}{D_{max}})$ einen Wert von 1,5 nicht überschreitet.
- 15 10. Einrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Sondengröße quasi-kontinuierlich einstellbar ist.
- 15 11. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Profil in der Resistschicht mit einer einzigen Sondengröße schreibbar ist, wobei die Sondengröße kleiner als die kleinstmögliche Strukturgröße ist.
- 20 12. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektronenflächendosis durch die Parameter der Einrichtung, wie Substratart, Resistart, Resistdicke, Entwicklungsvorschrift und Primärenergie des Elektronenstrahls, bestimmt ist.
- 25 13. Verfahren zur Erzeugung von Resistprofilen, mit einem System zur Elektronenstrahlolithographie, das einen Elektronenstrahl mit einer Primärenergie erzeugt, dessen Strahlachse im wesentlichen senkrecht auf einer Resistschicht steht, in der das Resistprofil erzeugt wird, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

- Ermitteln von Parametern die eine Elektronenflächendosis beeinflussen, und
 - Einstellen des Elektronenstrahls hinsichtlich der Elektronenflächendosis, so dass aufgrund der Bestrahlung der Resisttschicht durch den Elektronenstrahl ein Resistprofil erzeugt wird, das ein nicht-rechtwinkliges Resistprofil aufweist.
- 5
14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektronenflächendosis durch die Parameter, wie Substratart, Resistart, Resistdicke, Entwicklungsvorschrift und der Primärenergie des Elektronenstrahls, definiert wird, und dass die Einstellung des Elektronenstrahls entsprechend dieser Parameter vorgenommen wird.
- 10
15. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Resistprofil eine Gitterstruktur umfasst, die aus einer Aneinanderreihung von Vertiefungen und Erhöhungen besteht.
- 15
16. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass eine Gradationskurve des verwendeten Resists aufgenommen wird.
17. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass bei den konstanten Bedingungen, der Primärenergie des Elektronenstrahls, des Entwicklungsprozesses und der Resistdicke vor der Elektronenbestrahlung, eine Gradation des Resists als eine Funktion einer normierten Resistdicke bezogen auf die angewendete normierte Elektronenflächendosis aufgetragen wird.
- 20
18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Gradation $S = (\frac{\Delta d}{d_0}) / (\frac{\Delta D}{D_{\max}})$ einen Wert von 1,5 nicht überschreitet.
- 25
19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass in der Resisttschicht Flächen mit einer unterschiedlichen Elektronendosis

belichtet werden und dass nach dem Entwicklungsprozess die zur jeweiligen Elektronendosis gehörende und verbliebene Resistdicke bestimmt wird.

- 5 20. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass das ein Element des Profils der Gitterstruktur bestehend aus Vertiefungen und Erhöhungen die angewendete Elektronenflächendosis

$$D_B = \left(\frac{D_0}{(2n+1)} \right) \times \sum_{i=1}^{i=n} [f_e(x) + f_e(x-i \times b) + f_e(x+i \times b)] \text{ bestimmt}$$

ist.

- 10 21. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass durch die Höhe der Primärenergie des Elektronenstrahls ein Durchmesser einer Streubirne in der Resistschicht um den Einfallort des Elektronenstrahls festgelegt wird, wobei der Durchmesser der Streubirne umgekehrt
15 proportional zur Primärenergie des Elektronenstrahls ist.

22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass das Profil in der Resistschicht mit einer einzigen Sondengröße geschrieben wird, wobei die Sondengröße kleiner als die kleinstmögliche Strukturgröße ist.

- 20 23. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Sondengröße quasi-kontinuierlich einstellbar ist.

24. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektronenflächendosis durch die Parameter, wie Substratart, Resistart, Resistdicke, Entwicklungsvorschrift und Primärenergie
25 des Elektronenstrahls, definiert ist.

25. Verwendung der Einrichtung zur Erzeugung von Resistprofilen nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Elektronenstrahl zur Masterherstellung für CDs oder DVDs

einsetzbar ist, wobei die CDs oder DVDs eine Vielzahl vom Pits und Lands aufweisen und dass eine gewünschte Trapezform des Querschnittes der Pits optimal einstellbar ist.

- | | | |
|----|-----|---|
| 5 | 26. | Verwendung des Verfahren zur Erzeugung von Resistprofilen nach einem der Ansprüche 13 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass der Elektronenstrahl zur Masterherstellung für CDs oder DVDs verwendet wird, wobei die CDs oder DVDs eine Vielzahl vom Pits und Lands aufweisen und dass eine gewünschte Trapezform des Querschnittes der Pits eingestellt wird. |
| 10 | 27. | Verwendung der Einrichtung zur Erzeugung von Resistprofilen nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Elektronenstrahl zur Herstellung von Präzisions-Gittermaßstäben einsetzbar ist, und dass das Gitter ein Profil eines Sinusgitters aufweist. |
| 15 | 28. | Verwendung des Verfahren zur Erzeugung von Resistprofilen nach einem der Ansprüche 13 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass mit dem Elektronenstrahl Präzisions-Gittermaßstäbe hergestellt werden ist, und dass das Gitter ein Profil eines Sinusgitters aufweist. |
| 20 | 29. | Verwendung der Einrichtung zur Erzeugung von Resistprofilen nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Elektronenstrahl zur Herstellung von Gitterstrukturen für Sicherheitsmerkmale verwendbar ist, und dass das Gitter ein Profil eines Sinusgitters aufweist. |
| 25 | 30. | Verwendung des Verfahren zur Erzeugung von Resistprofilen nach einem der Ansprüche 13 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass der Elektronenstrahl zur Herstellung von Gitterstrukturen für Sicherheitsmerkmale verwendet wird, und dass das Gitter ein Profil eines Sinusgitters aufweist. |

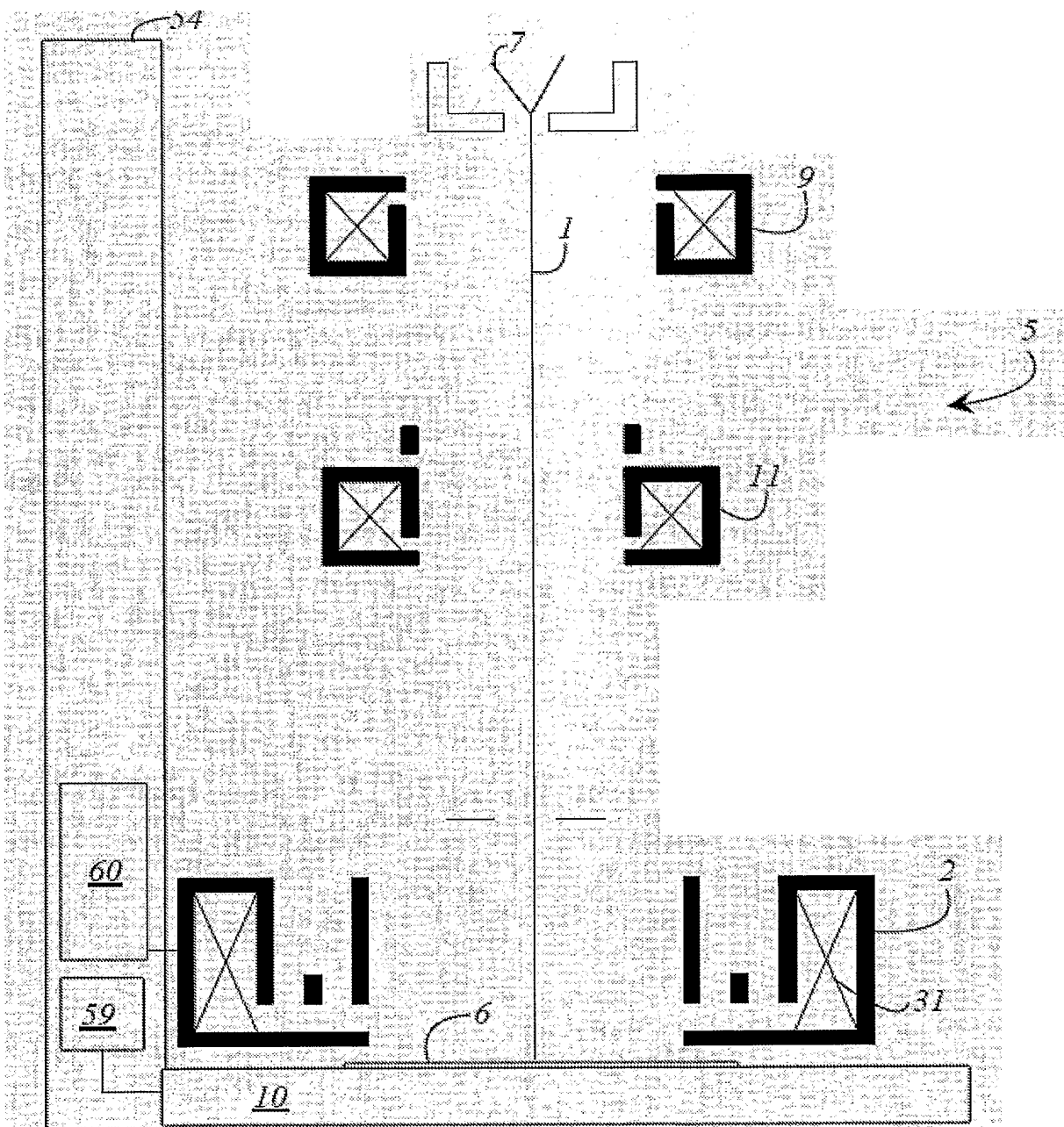


Fig. 1

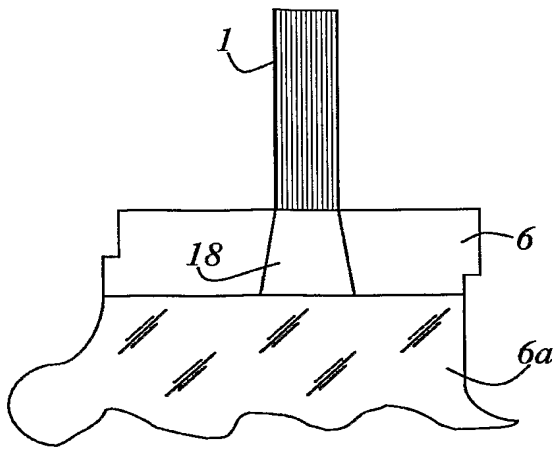


Fig. 2a

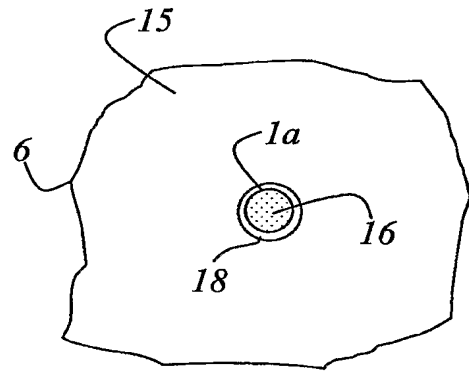


Fig. 2b

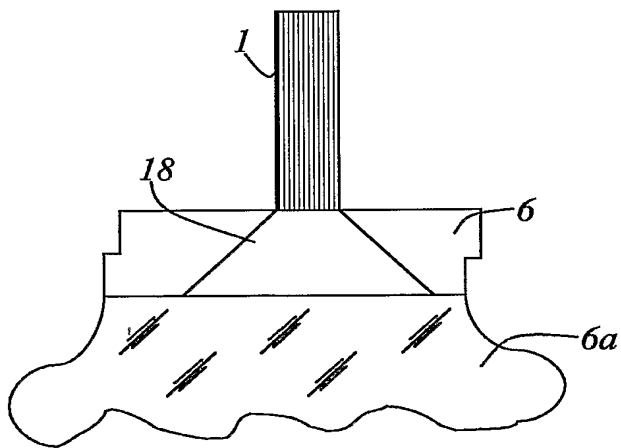


Fig. 2c

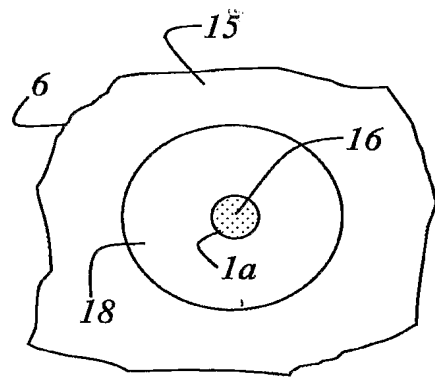
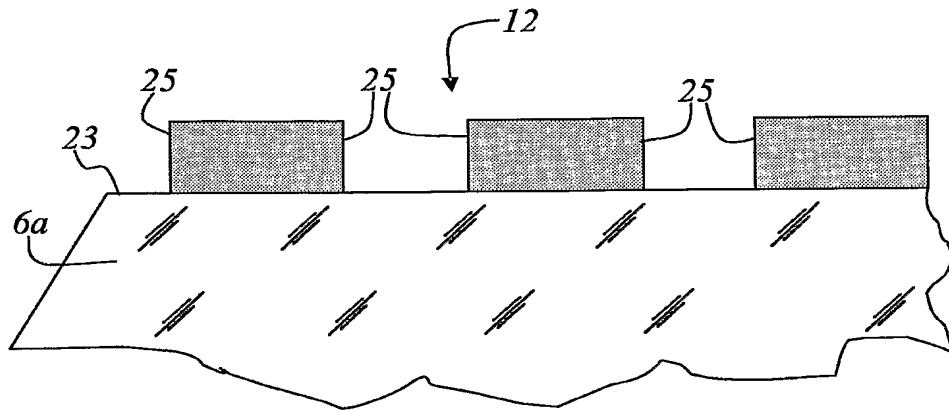


Fig. 2d



Stand der Technik

Fig. 3

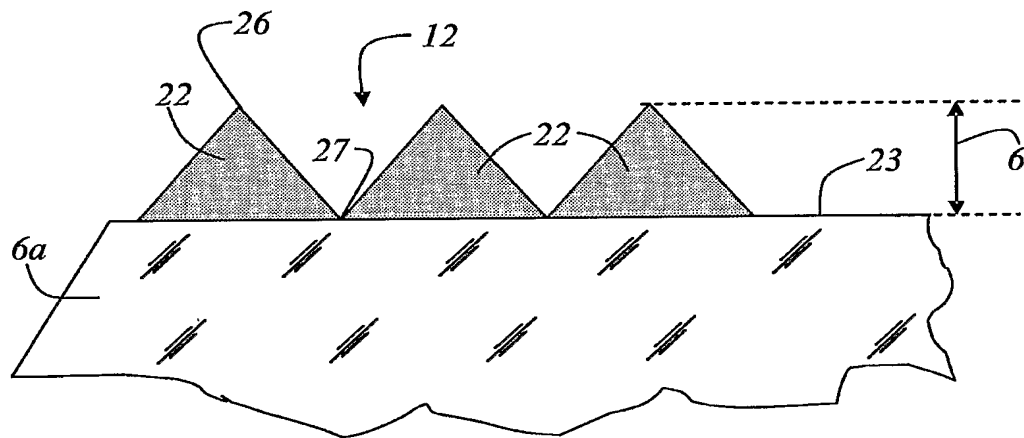


Fig. 4

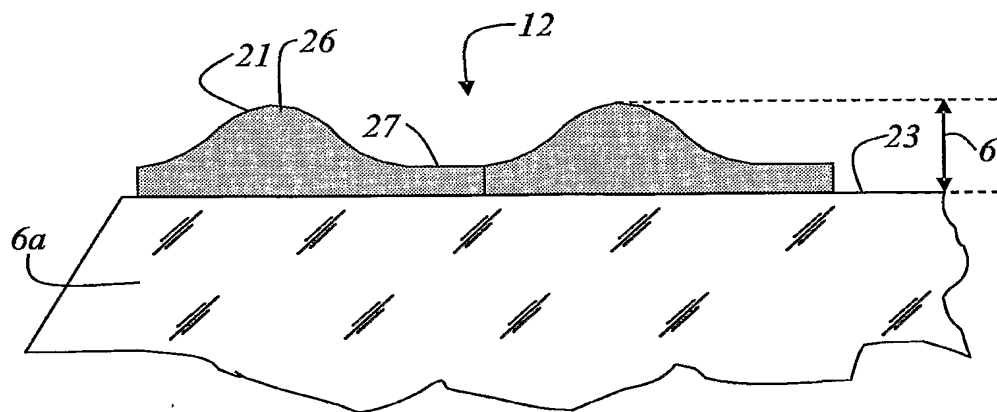


Fig. 5

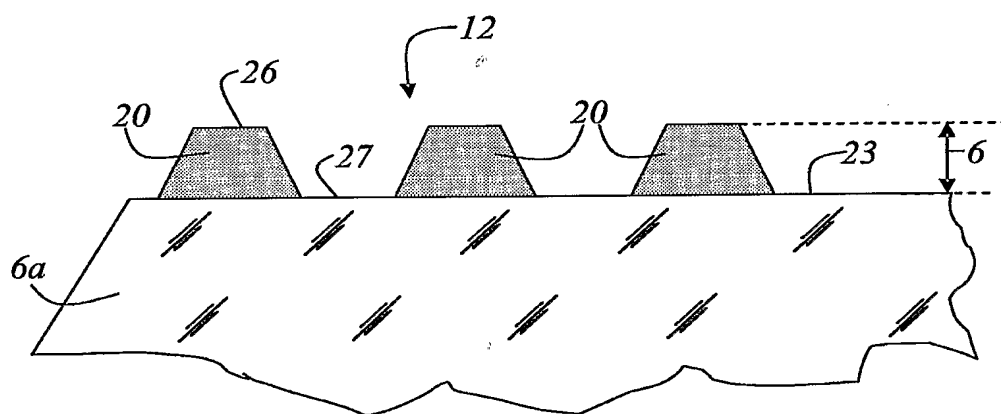


Fig. 6

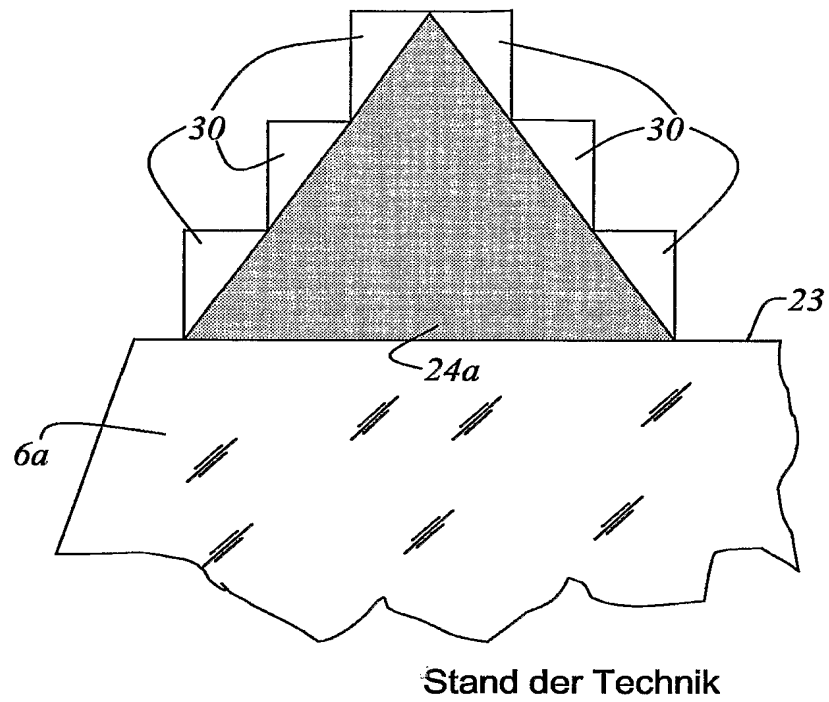


Fig. 7

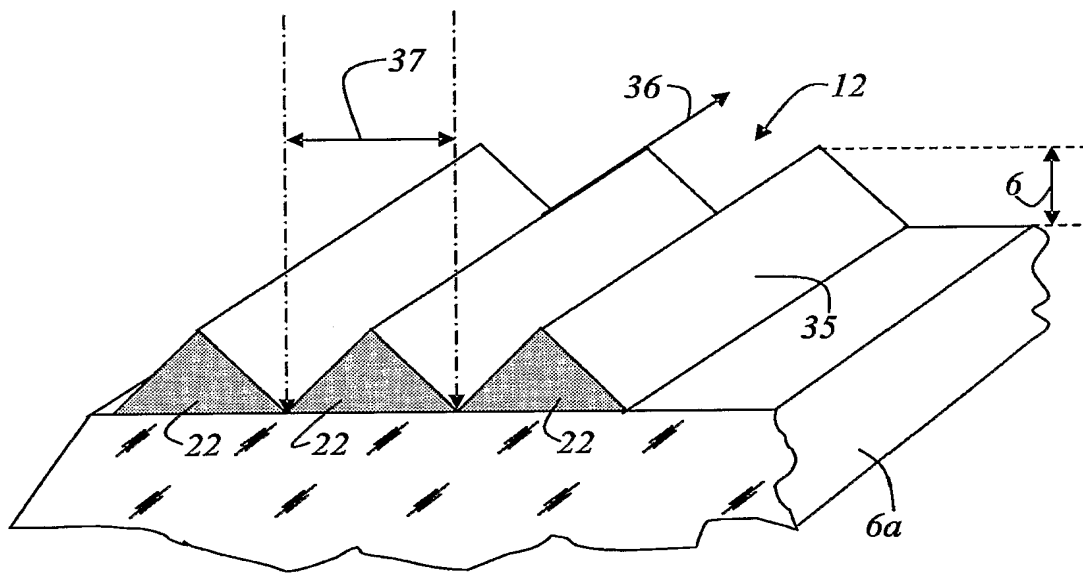


Fig. 8